УДК 553.411

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КРУПНЫХ И ГИГАНТСКИХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.Ф. Коробейников

Томский политехнический университет
E-mail: lev.tpu.ru

Обосновано положение о формировании крупных и гигантских эндогенных месторождений золота (и комплексных золото-платиновых объектов) в блоках активного проявления плюмтектоники, палеодиапиризма, рифтогенеза, мантийно-корового метасоматизма. Показано, что внутримантийный метасоматизм приводил к перераспределению и выносу благородных металлов из глубинных дунитов, перидотитов, подверженных объемной амфиболизации под воздействием нагретых флюидов. Возникавшие внутримантийные магмо-термофлюидные динамические системы, несущие благородные металлы, обеспечивали образование крупных и гигантских рудных объектов в земной коре. При отсутствии признаков проникновения глубинных расплавов и термофлюидопотоков в коровые зоны рудолокализации могли возникать лишь убогие и средние по запасам металлов месторождения.

Современная экономика всё более ориентирована на изучение и освоение крупных и гигантских по запасам рудных объектов. Такими промышленно привлекательными объектами оказываются крупнообъемные золоторудные, золото-платиновые месторождения даже с рядовыми и убогими содержаниями металлов в рудах. Поэтому геологическая служба страны в первую очередь занимается прогнозированием, поисками и разведкой подобных рудных объектов.

Однако природа таких уникальных рудных месторождений является всё еще недостаточно расшифрованной.

Перед исследователями постоянно встает вопрос – формируются ли такие месторождения в особых геологических обстановках под воздействием глобальных процессов или гигантские месторождения возникали обычным экстенсивным путём только в особо крупных геологических структурах земной коры?

Правильный ответ на этот фундаментальный вопрос геологии и определяет дальнейшую разработку и применение прогрессивной методики прогнозирования и поисков подобных крупных и гигантских рудных объектов в различных структурах земной коры.

Крупные запасы металлов в настоящее время выявлены в месторождениях различных генетических и формационных типов: в магматических медно-никелевых среди гипербазит-базит-щелочных интрузивов, в золото-медно-порфировых, золото-кварцево-сульфидных, золото-мышьяково-сульфидных, золото-сурьмяно-теллуро-серебряных, размещенных в гранитоидах и черносланцевых образованиях. Все они относятся к классу эндогенных рудных объектов, включающих магматогенно-гидротермальные, метаморфогенно-метасоматически-гидротермальные и полигенные типы месторождений золота и платиновых металлов.

В статье обсуждаются особенности геологического строения и условия формирования крупнообъемных месторождений в разновозрастных вулканогенных, вулканогенно-терригенно-карбонатных, в том числе «черносланцевых» толщах, на примерах Сухого Лога, Нежданинского, Олимпиадинского, Саралинского, Воронцовского, Бакырчикского, Кумторского, Васильковского, Мурунтауского и других крупных и гигантских рудных объектов.

Обосновывается положение о том, что крупные и гигантские месторождения благородных металлов формировались при воздействии глубинных подкоровых магмо-флюидодинамических рудообразующих систем, а рядовые месторождения являются продуктами коровых рудоформирующих систем.

Если мантийные флюиды глубинных рудообразующих систем достигали поверхности земной коры, то формировались близповерхностные месторождения золото-серебряного, золото-теллурового, золото-сурьмяного, золото-платиноидного типов; если достигали умеренных глубин, то возникали среднеглубинные (1,5...5 км) и если системы задерживались на значительных глубинах (более 5 км), то возникали глубинные рудные объекты.

Формирование таких уникальных месторождений обеспечивалось процессами плюмтектоники, рифтогенеза, палеодиапиризма, мантийно-корового магматизма, метасоматоза на площадях с аномально-неоднородным строением глубинных частей земной коры и мантии.

Признаки проявления глубинных процессов в земной коре

Все известные крупные и гигантские эндогенные золоторудные поля и месторождения размещаются на площадях активного проявления плюмтектоники и рифтогенеза. Распространенные в орогенно-рифтогенных структурах земной коры черносланцевые толщи нередко несут не только крупные и уникальные золотые, но и комплексные золото-платиноидные рудные объекты, например, Сухой Лог в Забайкалье, Олимпиадинское в Енисейском кряже, Бакырчик в Казахстане, Нежданинское в Саха-Якутии, Мурунтау в Узбекистане, Кумтор в Киргизии, Воронцовское на Урале, Средняя Падма в Карелии, Любина в Польше, Цзуньи в Китае и др. Такие рудные поля и месторождения находятся в сводово-глыбовых, террейновых структурах и формировались в зонах орогенеза, незавершенного и завершенного рифтогенеза, текто-

но-магматической активизации в областях активного проявления мантийно-корового палеодиапиризма и метасоматизма. Магмо-рудно-флюидно-метасоматические рудообразующие системы связаны общностью эндогенных (внутренних) и геодинамических режимов, обусловивших парагенезисы (сообщества) магматических, осадочных, метаморфических, рудно-метасоматических формаций и геохимических полей, ореолов разного происхождения и масштаба. Рудоносные геологические формации тяготеют к внутригеосинклинальным поднятиям, горсто-грабеновым структурам, зонам глубинных разломов, к рифтогенным впадинам, островодужным и окраинноконтинентальным системам, на участках активного разуплотнения пород под воздействием тектонических деформаций и гидротермального метасоматоза [1, 2].

Формирование крупных рудных объектов обеспечивалось процессами седиментации, дислокаций, метаморфизма, магматизма, метасоматизма на фоне длительно развивавшихся мантийно-коровых палеодиапиров под воздействием нагретых флюидных потоков в зонах глубинных расколов земной коры и мантии. Индикаторами той или иной геологической обстановки служат характер проявления разломной тектоники, заложение и формирование рифтогенных впадин, продуктов мантийно-корового магматизма и метасоматизма.

Металлоносные магмо-рудно-флюидно-метасоматические системы связаны общностью геодинамических, эндогенных и экзогенных режимов, обусловивших сообщества осадочных, магматических, рудно-метасоматических формаций и крупных полей геохимических ореолов.

Крупные золоторудные поля тяготеют к поперечным или диагональным по отношению к глубинным разломам, прогибам и выступам поверхности Мохоровичича, установленным гравитационными ступенями по границам горстов, поднятий [3–5]. Эти аномалии отмечают глубинные рудоконтролирующие структуры и, прежде всего, границы блоков разуплотнения вещества низов земной коры и мантии, т.е. палеодиапиры. На таких площадях обнаруживается сложное внутреннее строение региональных гравимагнитных и геохимических полей. Рудные поля и месторождения чаще размещаются по границам таких полей и окружены отрицательными или пониженными значениями их.

Доказательством проявления плюмтектоники и палеодиапиризма в определенных блоках земной коры служат инъективные дислокации в земной коре и верхней мантии. В этих структурных блоках крупные рудные объекты располагаются над гравитационными ступенями глубинных сейсмических зон (ГСЗ), отражающих выступы или гребни фундамента с метаморфитами, метасоматитами, магматитами гипербазит-базит-гранитового состава. В других случаях крупные рудные объекты находятся над гребневидными выступами мантийных разуплотненных пород в зонах глубинных потоков мантийных нагретых флюидов.

Такие инъективные дислокации выявляются на аэрокосмофотоснимках, в геофизических (аэрокосмомагнитных и аэрокосмогравитационных) и геохимических полях кольцевыми, овальными структурами, осложненными разрывами и зонами проницаемости на глубинах 220...15 и 5...1 км (см. рис. 1, 2). Они относятся к малым структурам

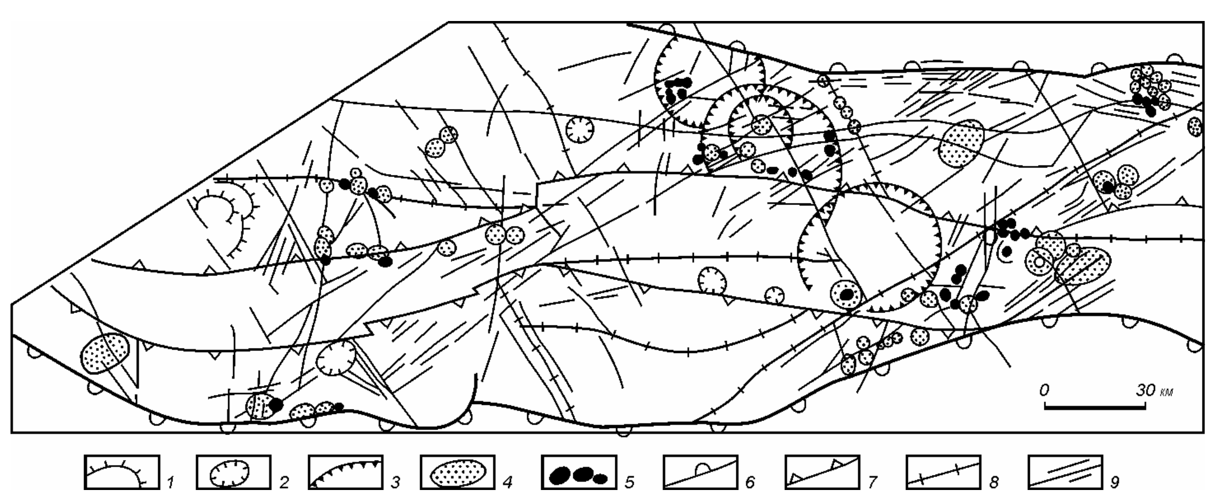


Рис. 1. *Карта дизъюнктивных и инъективных структур Западной Калбы Северо-восточного Казахстана (по данным геолого-геофизического, морфометрического дешифрирования аэрокосмофотоснимков и наземного картирования) [по 5]: 1–5) инъективные кольцевые структуры (МКС): 1) центры вулканизма и интрузивного магматизма субплатформенного этапа формирования геосинклинально-складчатой области Зайсана (T), 2) подводящие каналы гранитных интрузий батолитового типа (P), 3) центры интрузивного магматизма габбро-плагиогранитной золотоносной формации, 4) площади развития гидротермально-метасоматических пород – следы флюидных систем, 5) рудно-метасоматические образования – следы распада гидротермально-метасоматических систем; 6) глубинные разломы I порядка – границы золоторудно-платиноносной металлогенической зоны; 7) границы Чарско-Горностаевского поднятия осевой зоны Чарского офиолитового пояса; 8) региональные разломы II порядка – границы структурных блоков II порядка; 9) региональные и локальные разломы III порядка*

и связаны с развитием палеодиапиров, сопровождающих магматитов, метасоматитов, возникавших при распаде магмо-флюидных глубинных систем в верхних частях земной коры (на уровнях 60...15 и 5...1 км). Глубинным сейсмическим зондированием в таких блоках земной коры и верхней мантии подтверждается активизация верхней мантии.

Например, в Западной Калбе по результатам интерпретации гравитационных и магнитных полей по профилям ГСЗ-МОВ были выявлены неоднородности в мантийном основании Чарско-Горностаевского поднятия (Чарского офиолитового пояса), вмещающего крупнейшие золоторудные поля Калбы. Это поднятие ограничено с северо-востока Чарским и Горностаевским разломами, а с юго-запада – системой Байгузин-Булакского и Боконского глубинных разломов. Калбинский прогиб, примыкающий с северо-востока к Чарско-Горностаевскому поднятию, ограничен на северо-востоке Теректинским глубинным разломом и Калбинским поясом редкометалльных гранитных батолитов. С юго-запада к Чарско-Горностаевскому горсту примыкает Жарминский прогиб, ограниченный на юго-западе системой Сиректасского и Кокпектинского глубинных разломов [4, 5]. По сейсмическим данным Н.К. Булин [3] прогнозирует под Чарско-Горностаевским поднятием зону активизации верхней мантии на глубинах до 330 км, а под Жарминским прогибом – до 220 км (рис. 1).

На склонах этого устойчивого внутригеосинклинального рифтогенного поднятия в эпиконтинентальном рифтогенном осадочном бассейне Зайсана были сформированы рудовмещающие черносланцевые толщи карбона в периоды максимальных скоростей их прогибания 0,193...0,525 мм/год [5]. Установлена тесная пространственная связь рудоносных черносланцевых толщ Западной Калбы с породами офиолитовой ассоциации – с гипербази-

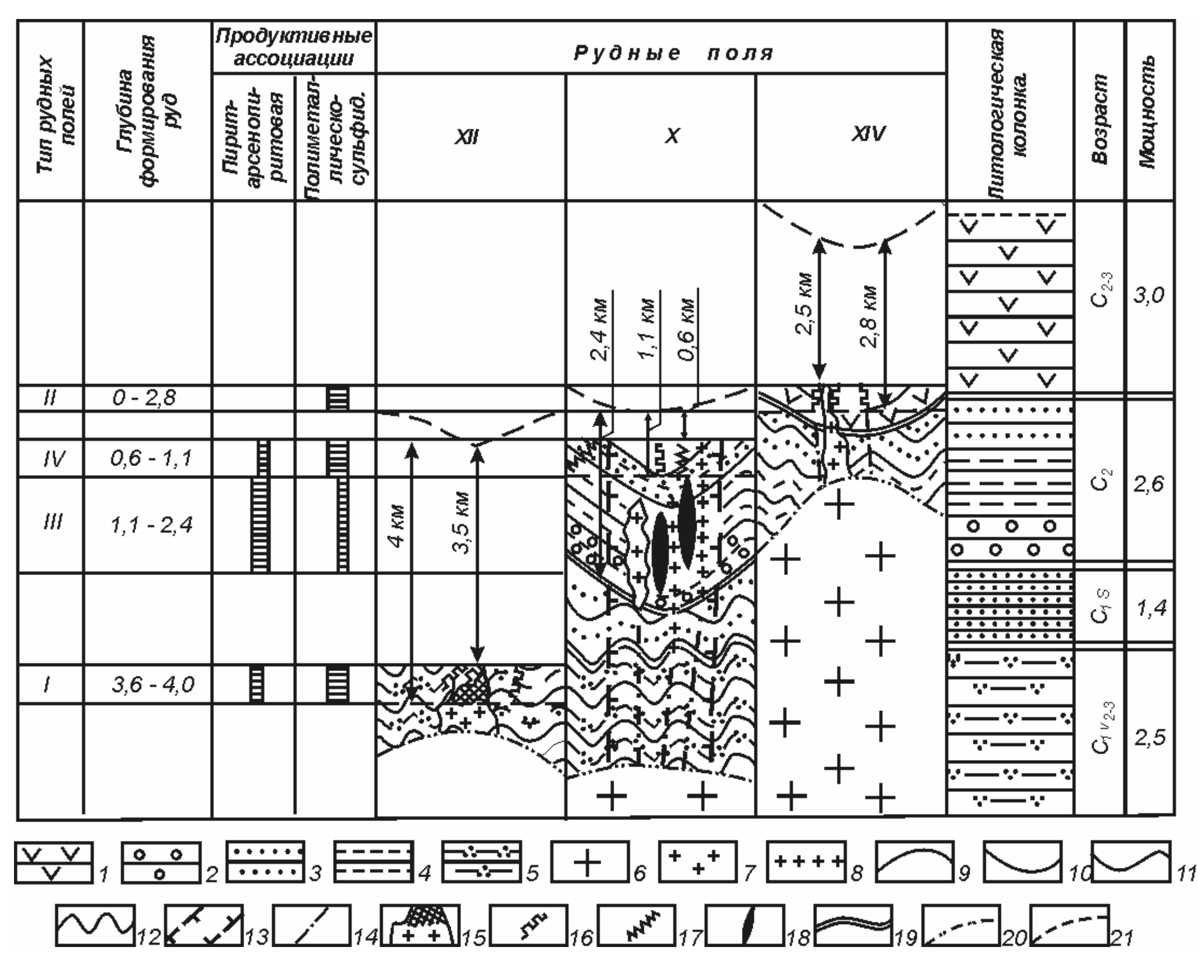


Рис. 2. *Схема структурной и рудно-формационной зональности Боко-Акжальского рудного района Западной Калбы [по 5]: 1) андезитбазальты, 2) конгломераты, 3) песчаники, 4) алевролиты, аргиллиты, сланцы, 5) кремнистые породы, яшмоиды, С2-3; 6) поля, скрытые на глубине интрузивы гранитоидов, 7) штоки габбро-плагиогранитовой формации, С3; 8) дайки той же формации; 9) антиклинали I порядка, 10) то же, синклинали; 11) антиклинали III порядка; 12) участки сложной складчатости, в том числе приразломной; 13) зоны региональных разломов; 14) то же, крупных; 15) зоны золотоносных березитов; 16) золотоносные кварцевые жилы; 17) то же, ветвящиеся; 18) золото-платиновые прожилково-вкрапленные пирит-арсенопиритовые зоны; 19) границы между осадочными и вулканогенно-осадочными толщами; 20) граница кровли скрытых гранитоидных интрузий; 21) палеоэрозионная поверхность в период рудообразования; Рудные поля: X – Токум-Васильевское, XII – Акжальское, XIV – Боконское*

тами, базитами, основными эффузивами, туфами, кремнистыми образованиями, широко распространенными в Чарско-Горностаевском поднятии.

Золоторудные поля Западной Калбы были сформированы в поперечных и диагональных коровых разломах по отношению к Чарскому офиолитовому поясу (рис. 1, 2). Их заложение связано с рифтогенезом на участках активного разуплотнения блоков верхней мантии – нижней коры в периоды активного проявления плюмтектоники и палеодиапиризма [5] (рис. 2).

Подобные усложненные верхнемантийные-нижнекоровые структуры зафиксированы ГСЗ-МОВ и в других рудоносных регионах страны и зарубежья, несущих крупные и гигантские золоторудные объекты. Они также характеризуются гребневидными или клавишными выступами разуплотненной земной коры и мантии.

В районе гигантского золото-платинового месторождения Сухой Лог Э.Н. Лишневским и В.В. Дистлером [6] по геолого-геофизическим данным отмечается выступ активизированной мантии, расположенный на глубине 35...37 км с амплитудой 7...10 км. Активизированная мантия рассматривается как физический и энергетический источник восходящих нагретых глубинный флюидов.

Крупное Нежданинское золоторудное месторождение также фиксируется на космофотоснимках в форме кольцевой структуры 50 км в поперечнике, приуроченной к узлу пересечения Средне-уральско-Шелиховского линеамента с субмеридиональными структурами северной части Сетте-Дабанского палеорифта [7].

В палеотектонических полях напряжений золотоносные структуры крупнейших месторождений Мурунтау, Кокпатас, Даугызтау, Амантайтау фиксируются локальными аномалиями поля силы тяжести отрицательного знака [9, 10], что также свидетельствует о наличии блоков разуплотненной мантии.

В.Е. Хаин с соавторами [8] наряду с региональными закономерностями локализации гигантских месторождений, связанных с мантийным метасоматизмом, существенную роль отводят трансрегиональным сквозным линейным зонам, пересекающим рифтовые зоны и увеличивающих проницаемость земной коры.

Мантийные процессы преобразования глубинного вещества (амфиболизация дунитов, эклогитов, перекристаллизация гранатов перидотитов) сопровождались перераспределением и выносом благородных металлов до 50 % от общего их количества в исходных породах мантии. Это обеспечивало возникновение магмо-флюидно-рудообразующих глубинных систем в мантии [11–15]. Нашими ранними геохимическими исследованиями было показано, что среди ксенолитов глубинных пород (гранатовых перидотитов) в кимберлитах, лампроитах, щелочных базальтах было выявлено два их типа: неизмененные ксенолиты и метаморфизованные их разности [3]. В измененных породах и перекристаллизованных гранатах содержание золота вдвое ниже такового в неизмененных перидотитах. Это свидетельствует о перераспределении и выносе металла при внутримантийном метасоматизме и о возможном формировании металлоносных глубинных термофлюидных систем и подчеркивается крайне неоднородным распределением Au в магматитах: от 0,5 до 43 мг/т.

Дополнительным доказательством участия мантийного вещества при формировании крупных золоторудных объектов могут служить выявляемые повышенные концентрации платиновых металлов до 1...9 г/т и более Pt, Pd, Ir, Os, Rh в золоторудных телах и околорудных метасоматитах ряда известных крупных месторождений России и зарубежья [1, 2, 16]. Распределение платиновых металлов в золотых рудах многих регионов показано в ряде публикаций [1, 2, 5, 16].

Процессы глубинной гранитизации (магматического замещения по Д.С. Коржинскому) нижнекоровых блоков пород в областях их активного разуплотнения под воздействием глубинных флюидопотоков могут служить дополнительными доказательствами заложения «глубинных магмо-флюидно-рудообразующих систем» как продуктов деятельности плюмтектоники.

Энергетической основой глубинной тектоники и метасоматизма могли служить периодически повторяющиеся объемные деформации и их упругие последействия (по терминологии Е.Д. Глухманчука [17]), если принять их солитонную природу.

Именно импульсная дегазация ядра и мантии в условиях сверхвысоких давлений и температур обеспечивала появление плюмов как солитонных образований или самоорганизующихся систем по И. Пригожину. Фиксируемые глубинными геофизическими зондированиями блоки отрицательных магнитных и гравиметрических аномальных зон, вероятно, подтверждают структурные ловушки для металлоносных глубинных нагретых флюидов, что и служило основой для формирования мантийных магмо-флюидных рудообразующих систем. Крупность возникавших рудных объектов обеспечивалась размерами исходных структур-ловушек, а также солитонным-импульсным (квантовым) режимом глубинной дегазации.

Особенности геологического строения и формирования крупных и гигантских золоторудных месторождений

Региональные закономерности формирования и размещения таких рудных полей и месторождений в складчатых областях определялись сквозными поперечными разломами II порядка и участками их пересечения с продольными разломами I порядка, зонами трещиноватости II, III порядков, отражающими блоковое строение оснований. Глубинные разломы фиксируются сериями разрывов,

зон трещиноватости, гранитоидами повышенной основности, дайками долерит-диабазового, диорит-лампрофирового состава, площадными и локальными метасоматитами, развитыми в бортах палеотрогов, офиолитовых поясов, на выклинивании глубинных разломов среди протерозой-палеозойских блоков пород.

Крупные рудные поля распологаются в террейнах, вулканогенных поясах, окраинных частях сводовых поднятий и срединных массивов с двухярусными вулканогенно-терригенными и карбонатно-сланцевыми разрезами верхней части земной коры умеренной мощности в 35...47 км. Региональная металлогеническая зональность проявляется как смена различных формационных типов руд по простиранию структурно-формационных зон, осложненных дуговыми, поперечными, очагово-кольцевыми, линейными структурами, фиксируемыми гранитоидными интрузивами, дайковыми поясами и разнообразными метасоматитами. Золотые, золото-платиноидные руды парагенетически связаны с многофазными орогенно-рифтогенными гранитоидными интрузиями повышенной основности или с ранними субдукционно-коллизионными габбро-плагиогранитными и поздними габбро-сиенит-гранитными, порфировыми интрузиями.

Рудные поля характеризуются блоковым внутренним строением и располагаются в узлах наиболее усложненных поперечных и продольных складчато-разрывных структур в зонах активного проявления палеодиапиризма. Самые крупные золоторудные поля локализованы в блоках с неоднократным проявлением магматизма и метасоматизма. Размещение рудных полей и месторождений в отдельных блоках земной коры контролировалось разломами, зонами дробления, милонитизации, трещиноватости и метасоматического замещения на участках проявления интрузий или даек долерит-диабазового, диорит-лампрофирового, плагиогранитного, гранит-сиенит-порфирового рядов [15, 18]. Гидротермально-метасоматические процессы, протекавшие в верхних частях земной коры при распаде глубинной флюидной системы над мантийными палеодиапирами, обеспечивали разуплотнение исходных пород благодаря явлениям гидратации (метасоматоза) с увеличением объемов измененных пород на 12...22 % [12–18]. Это способствовало заложению новых разрывов, зон трещиноватости и горсто-грабеновых структур компенсационного типа.

Краевые участки развивавшихся диапировых куполов представляли собой приразломные компенсационные прогибы, в которых формировались рудоносные черносланцевые формации. Внутригеосинклинальные поднятия и рифтогенные компенсационные впадины, прогибы возникали в боках блоков наибольшего подъема мантийного палеодиапира. В компенсационных структурах рудные поля и месторождения формировались под влиянием палеофокальных зон, палеодиапиризма, мантийно-корового магматизма и метасоматизма. Ряд из них возникал на выклинивании или в бортах офиолитовых, вулканогенных поясов на участках рифтогенеза и связан со становлением гипербазит-базит-плагиогранитных интрузивных серий в глубинных разломах. Например, рудные поля Западной Калбы (Бакырчикское, Боко-Васильевское), Кумтора, Зун-Холбинского, Падминского регионов (рис. 2). Нередко в таких структурно-фациальных зонах наблюдается совмещение разноглубинных магмо-рудно-метасоматических формаций с образованием рудно-метасоматической зональности регионального и локального типов [19, 20].

Рудно-метасоматические системы такого типа возникали и развивались благодаря термофлюидным потокам при процессах растяжения и распада глубинной флюидной системы над мантийными палеодиапирами. Магматические процессы сопровождались метасоматическими явлениями с образованием крупных рудно-метасоматических колонн протяженностью по вертикали 3...5 км (рис. 3) и 7...15 км для общих магмо-флюидных систем. Длительно существовавшие термофлюидопотоки обеспечивали перераспределение, обмен и вынос рудных компонентов боковых пород по пути продвижения нагретых флюидов. Вынос благородных металлов из боковых пород мог достигать 30...50 %, а насыщение ими флюидов – до 21...410 раз (коэффициент накопления Кн=21...410 [2, 14, 20]). Можно выделить (рис. 3) глубинные области (≥ 60 км), где преобладали процессы экстракции рудных элементов восходящими потоками глубинных нагретых флюидов и области «разгрузки» флюидов (15...1 км), где флюиды, насыщенные Au и элементами платиновой группы (ЭПГ), отлагали металлы в зонах рудолокализации и локального метасоматоза.

В аномальных геофизических и геохимических полях находятся скопления площадных и локальных метасоматитов альбит-калишпат-биотитового, скарнового, березит-лиственитового, аргиллизитового, пропилитового состава среди вулканитов, терригенно-карбонатных, черносланцевых толщ, метаморфизованных в условиях цеолитовой и зеленосланцевой фаций. Здесь размещены крупные тела вкрапленных, штокверковых, жильных руд с промышленно важными содержаниями Au до 5...30 г/т, Pt, Pd, Rh до 1...9 г/т [1, 16].

В крупных рудных полях проявляется региональная и локальная рудно-метасоматическая и геохимическая зональность. Метасоматиты и руды в общей рудно-метасоматической колонне размещаются закономерно: внизу колонны залегают щелочные метасоматиты (кварц-альбитовые, калишпат-альбитовые, альбит-биотитовые) с рудами Au-Pt; в средней части – березиты, листвениты, иногда пропилиты с штокверковыми рудами; вверху – листвениты или аргиллизиты с жильной, жильно-штокверковой минерализацией (Au, Au-Pd) (рис. 3). Эти части рудно-метасоматической колонны подчеркиваются геохимическими ореолами истощения Au, Ag, Pt, Pd, а вверху и в средней части – накопления этих металлов; выделяются надрудные Sb, Hg, Ba, Tl; околорудные Cu, Pb, Zn, As, Ag, Pt, Pd; по-

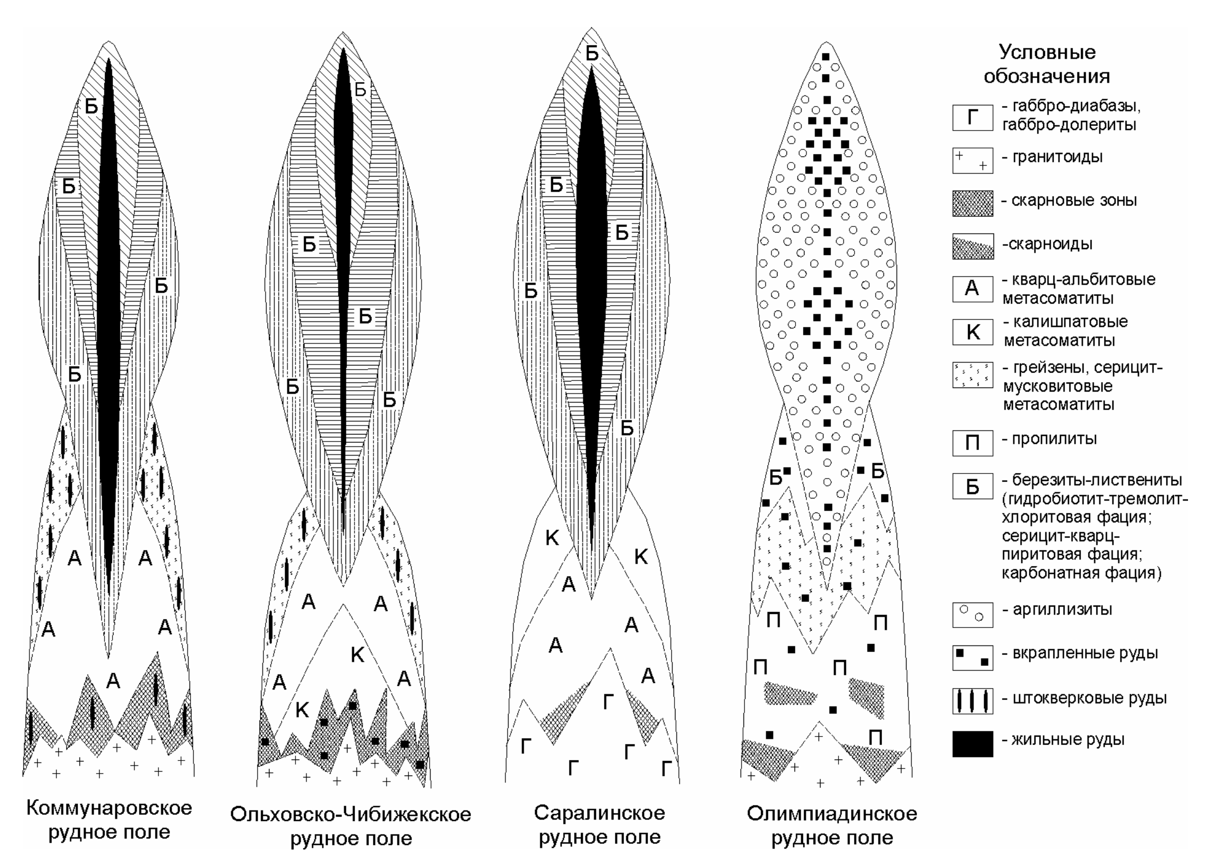


Рис. 3. *Схемы рудно-метасоматической зональности крупных золоторудных полей Енисейского кряжа, Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна*

друдные Ti, Ni, Co, V, Mn, Os, Ir, Mo, Be, W группы элементов [15, 20]. Геохимическими исследованиями показано, что при раннем щелочном метасоматозе происходит перераспределение и вынос Au и ЭПГ из исходных пород до 40...50 % от общего их количества, а при околорудном метасоматозе (грейзенизации, березитизации, аргиллизации) – привнос этих металлов в зоны метасоматоза минералообразующими растворами $Кн^{Au}$=5...290 (рис. 4).

Последовательность геолого-геохимических событий при формировании месторождений представляется следующая [2]: внутримантийный метасоматоз глубинных пород (дунитов, перидотитов) $Кн^{Au}$=0,5 → становление базит-гипербазитовых интрузий $Кн^{Au}$=1,2...2,7 → зеленокаменное перерождение базитов и серпентинизация гипербазитов $Кн^{Au}$=1,0...0,9 → внедрение габбро-плагиогранитных, габбро-сиенит-гранитных интрузий $Кн^{Au}$=1,7...5,6 → оливинизация серпентинитов (метасоматоз) $Кн^{Au}$=0,7...0,8 → K-Na внутрикоровый метасоматоз $Кн^{Au}$=0,8...0,6 (рис. 4); $Кн^{Os}$=0,5 → пропилитизация вулканитов $Кн^{Au}$=0,9...0,8 и $Кн^{ЭПГ}$=0,8 → березитизация – лиственитизация, грейзенитизация, аргиллизация магматитов, углеродных сланцев $Кн^{Au}$=3...300 и $Кн^{ЭПГ}$=36...410 → окварцевание, сульфидизация альбититов-калишпатитов, грейзенов, березитов-лиственитов, аргиллизитов, углеродистых сланцев $Кн^{Au}$≥300 и $Кн^{ЭПГ}$≥1050.

Оценочные показатели крупных и сверхкрупных золоторудных объектов

Анализ геологической, геофизической, минералого-геохимической информации, получаемой при дистанционных и наземных исследованиях таких рудных объектов, показал, что для них свойственны специфические показатели.

Оценочными показателями крупных и гигантских рудно-метасоматических колонн золоторудных объектов служат такие [21]:

1) обнаружение зон рифтогенеза и плюмтектоники по наличию глубинных магматитов долерит-лампрофир-плагиогранитного составов по аэрокосмическим снимкам, глубинным геофизическим профилям, а также блоков разуплотненных пород в нижних слоях золотоносных территорий; наличие таких блоков или гребней-выступов мантийных пород, отражающих проявление мантийно-коровых палеодиапиров и плюмтектоники;
2) развитие на глубинах батолитов, штоков, даек долеритов, диорит-лампрофиров, порфиров и полей площадных метасоматитов с металлогенической и геохимической специализацией на Au, Ag, Pt, Pd; а также признаков проявления палеодиапиров и глубинных флюидопотоков (по включениям в минералах и изотопным характеристикам);

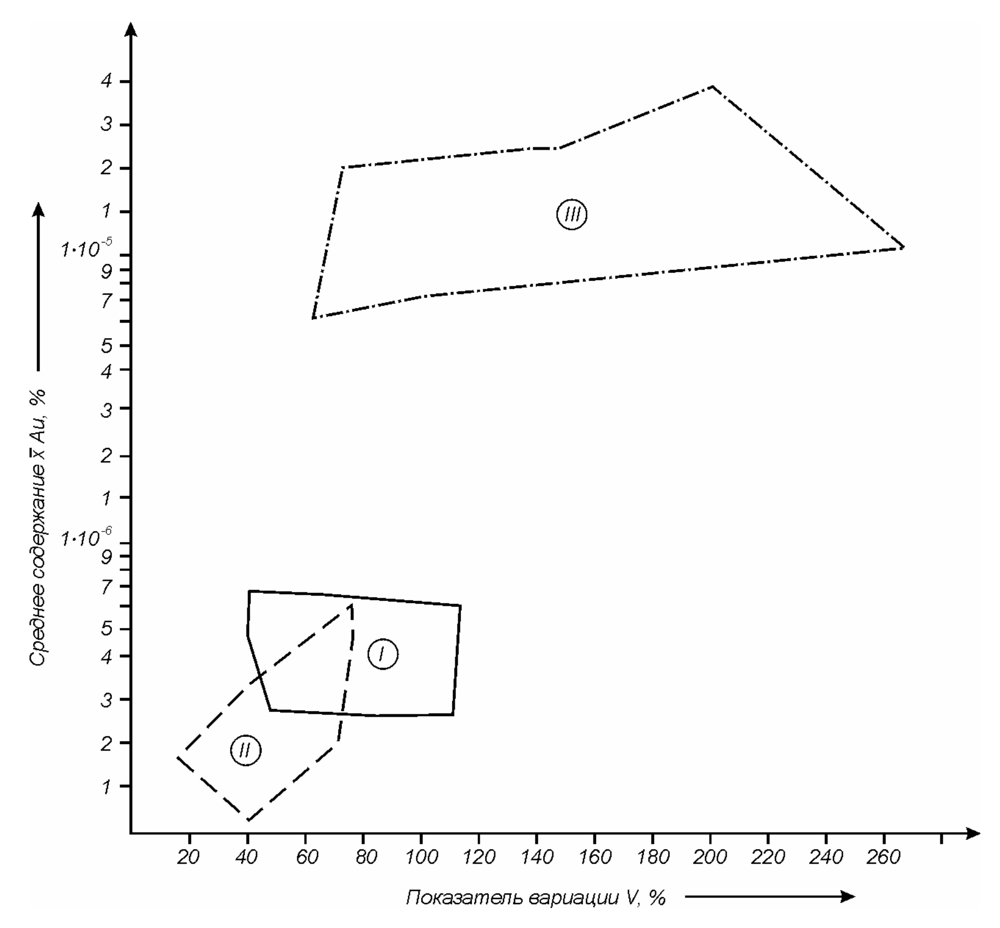


Рис. 4. *Соотношение параметров распределения золота (средних содержаний X и показателя вариации V) в исходных и измененных гранитоидах Кузнецкого Алатау, Восточного Саяна: I) поле развития минералов и неизмененных пород интрузивов, II) то же, альбитизированных и калишпатизированных гранитоидов, III) то же, грейнезированных, березитизированных гранитоидов*

3) выявление признаков фракционирования золота между твердой и жидкой фазами кристаллизовавшихся расплавов $Кн^{Au}$ ($Кн^{Au}$=1:3...21 и 1:53...114) и между твердой и флюидной фазами области субсолидуса (1:5,5 и 1:290) [11, 22]; при этом $Кн^{Au}$ между жидкой (магмой), твердой и флюидной фазами кристаллизующихся расплавов основного и кислого составов составили: 1,3:1:3 в начальную стадию кристаллизации и 2,5:1:21 в конечную стадию для толеитовых магм, а для рудогенерирующих гранитоидных магм – 2:1:5 в начальную стадию кристаллизации и 2,5:1:114 в остаточных расплавах и флюидах; этим и объясняется пространственная совмещенность золотого оруденения с поздними дифференциатами гранитоидных интрузий благодаря существенному накоплению металла в остаточных расплавах и флюидах; повышенные значения средних содержаний золота в акцессорных минералах (сфен, циркон, апатит, магнетит, пирит, пирротин) метасоматически преобразованных интрузивных пород свидетельствуют о накоплении Au (Кн=20...190) во флюидной фазе гранитоидных интрузий;
4) распространенность в акцессорных минералах магматитов и метасоматитов самородных элементов (C, Bi, Zn, Sn, As, Au, Pt, Pd, Hg), карбидов (SiC, FeC_3), дефицитно-сернистых соединений (троилит, пирротин), производных глубинных нагретых восстановленных флюидов;
5) смена снизу вверх магмо-рудно-метасоматической колонны акцессорных минералов восстановительной обстановки на окислительную на сульфиды, сульфосоли, оксиды;
6) развитие ореолов повышенной золотоносности среди контактовых мраморов, роговиков на контактах интрузивов: $Кн^{Au}$=1,2...1,4;
7) наличие полей дайковых пучков, штоков магматитов пестрого состава (от основных до кремнекислотных) и метасоматитов, гидротермалитов: щелочных (альбититов-калишпатитов), локальных (березитов-лиственитов, пропилитов, аргиллизитов; развитие отрицательных ($Кн^{Au}$=0,8...0,4) внизу и положительных ($Кн^{Au}$=8...190) геохимических аномалий вверху интрузивно-рудно-метасоматических колонн (рис. 5);
8) наличие признаков латеральной и вертикальной рудно-метасоматической зональности: внизу колонн находятся альбит-калишпатовые метасоматиты с вкрапленными рудами; в средней части – березит-лиственитовые метасома-

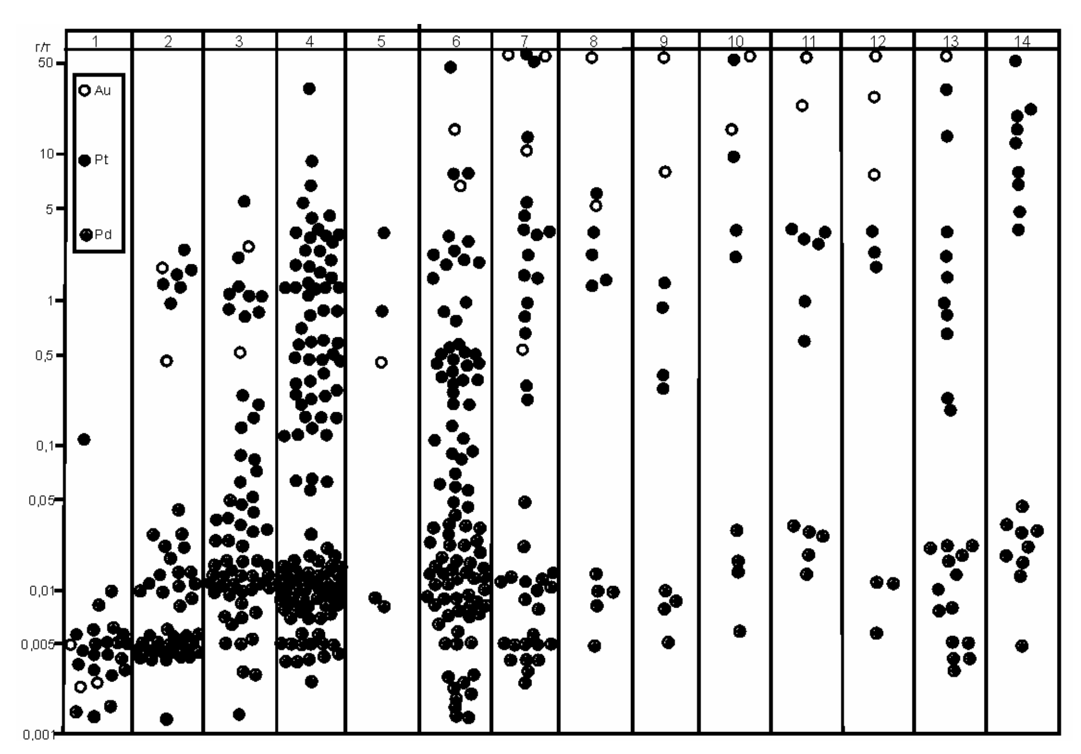


Рис. 5. *Распределение Au, Pt, Pd в рудовмещающих углеродистых сланцах и габбро-диоритах, диоритах, лампрофирах и их березитизированных, сульфидизированных разностях, во вкрапленных и кварцево-жильных рудах Нежданинского крупного месторождения: 1) исходные алевролиты, песчаники, сланцы, габбро-диориты, диориты, лампрофиры с убогим пиритом, арсенопиритом; 2) березиты аподиоритовые, 3) березиты апосланцевые с пиритом, арсенопиритом; 4) сульфидизированные сланцы; 5) сульфидизированные диориты; 6) вкрапленные – пирит-арсенопиритовые руды с Au и ЭПГ; 7) жильные кварцево-сульфидные руды с Au и ЭПГ; 8) пирит вкрапленных руд; 9) пирит кварцево-сульфидных жил; 10) арсенопирит вкрапленных руд; 11) арсенопирит кварцево-сульфидных жил; 12) агрегат пирита, арсенопирита, сфалерита, галенита их вкрапленных руд; 13) агрегат сульфидов их кварцевых жил; 14) гравиконцентрат рудный*

титы с штокверками и вверху – лиственитыили аргиллизиты, пропилиты с жильно-штокверковыми рудами; вертикальная протяженность таких колонн достигает 1,2...3,2 км и более;

9) проявление вертикальной геохимической зональности – надрудных (Sb, Hg, Ba, Ag, Tl), околорудных (Cu, Pb, Zn, Bi, Te, Se, As, Au, Ag, Pt, Pd), подрудных (Ti, Ni, Co, V, Mn, Be, W, Mo) ореолов;
10) смена по вертикали состава и свойств расплавно-рассольных, газово-жидких, жидких включений в минералах магматитов, метасоматитов и руд с признаками восстановительной обстановки минералообразования внизу (CO, H_2, CH_4, NH_4) на окислительные (CO_2, O_2, H_2O и др.) вверху палеогидротермальной колонны [12, 23];
11) смешанный тип изотопных отношений Pb-Pb, Sr-Sr, Sm-Nd, O-O, S-S в минералах руд, околорудных метасоматитов, свидетельствующий о мантийном и коровом поступлении рудного вещества в зоны его структурной локализации.

Заключение

1. Выполненные исследования свидетельствуют о том, что крупные и гигантские месторождения формировались под воздействием глобальных процессов плюмтектоники и рифтогенеза, палеодиапиризма и мантийно-корового метасоматизма в областях длительного поступления глубинных нагретых флюидов в структуры земной коры.

   При отсутствии признаков поступления глубинных магматических расплавов и нагретых флюидов в коровые зоны рудолокализации могли формироваться лишь рядовые и мелкие золоторудные месторождения, например, золото-скарновые, золото-кварцевые в гранитоидах и др.
2. Разработаны оценочные геолого-минералого-геохимические и геофизические показатели расшифровки крупных и сверхкрупных золоторудных объектов в региональных структурах земной коры.
3. Крупные и уникальные по запасам месторождения благородных металлов следует ожидать в условиях обнаружения признаков проявления двух минералообразующих систем: мантийной магмо-термофлюидно-динамической и коровой гранитоидно-гидротермально-метасоматической в условиях активного развития процессов плюмтектоники и палеодиапиризма.

Приведенные в статье материалы не противоречат предложенной флюидодинамической концепции формирования месторождений полезных ископаемых, активно разрабатываемой в последние годы [24 и др.].

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов «Университеты России».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробейников А.Ф. Нетрадиционные комплексные золото-платиноидные месторождения складчатых поясов. – Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999. – 237 с.
2. Коробейников А.Ф. Комплексные золото-платиноидно-редкометалльные месторождения – резерв XXI века // Известия Томского политехнического университета. – 2001. – Вып. 1. – С. 169–182.
3. Булин Н.К., Афанасьева И.А., Проняева Е.А., Эрглис Е.И. Глубинное строение территории юго-западного Алтая по сейсмическим данным // Советская геология. – 1969. – № 4. – С. 97–109.
4. Бекжанов Г.Р., Попов А.А., Любецкий В.Н. Глубинное строение и региональная металлогения Казахстана // Металлогения Сибири: Тез. докл. XI Всесоюзн. металлогенического совещ. – Новосибирск, 1987. – Т. 1. – С. 175–178.
5. Коробейников А.Ф., Масленников В.В. Закономерности образования и размещения месторождений благородных металлов в черносланцевых толщах Северо-Восточного Казахстана. – Томск: Изд-во ТГУ, 1994. – 337 с.
6. Лишневский Э.Н., Дистлер В.В. Глубинное строение земной коры района золото-платинового месторождения Сухой Лог по геолого-геофизическим данным (Восточная Сибирь, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2004. – Т. 46. – № 1. – С. 88–104.
7. Печниковская Л.И. Космоструктурные критерии контроля Нежданинского золоторудного месторождения (Южное Верхоянье) // Отечественная геология. – 2004. – № 3. – С. 41–43.
8. Хаин В.Е., Кравченко С.М., Кочнева Н.Т., Диденко М.И. Локализация месторождений мантийного генезиса Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Российская Арктика. Геологическая история. Минерагения. Геоэкология. – СПб., 2002. – С. 430–443.
9. Шашорин Б.Н., Толкачев А.Е., Тюленева В.М., Шашорин Ю.Н. Тектоника золотоносных областей Центральных Кызылкумов и Нечерского горнорудного района в Северном Забайкалье (палеогеодинамические, тектонофизические, минерагенические аспекты) // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – С. 241–243.
10. Котов Н.В., Порицкая Л.Г. Особенности геологического строения, минеральные ассоциации метасоматитов и вопросы генезиса золоторудного месторождения Мурунтау (Центральные Кызылкумы) // Записки Всес. Минералогического общества. – 1991. – № 4. – С. 59–69.
11. Коробейников А.Ф. Фракционирование золота в магматическом расплаве при его кристаллизации // Доклады АН СССР – 1981. – Т. 258. – № 5. – С. 1200–1204.
12. Коробейников А.Ф. Признаки глубинных флюидов в рудоносных гранитоидных системах орогенных структур // Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 99–106.
13. Коробейников А.Ф. Золото в эндогенных процессах земной коры и мантии // Доклады АН СССР. – 1988. – Т. 299. – № 5. – С. 1233–1237.
14. Коробейников А.Ф. Мантийно-коровая модель формирования эндогенных месторождений золота // Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: Межвуз. сб. – Иркутск: ИПИ, 1990. – С. 29–40.
15. Коробейников А.Ф. Условия концентрации золота в палеозойских орогенах. – Новосибирск: Наука, 1987. – 177 с.
16. Коробейников А.Ф. Платиновые металлы в золоторудных месторождениях складчатых структур Сибири и Северо-Восточного Казахстана // Геохимия. – 1998. – № 10. – С. 1009–1020.
17. Глухманчук Е.Д. Деформации упругого последействия в верхних слоях земной коры как индикатор движения магм и флюидов // Геология и геофизика. – 1992. – № 6. – С. 32–36.
18. Коробейников А.Ф. Геохимия золота в габбро-плагиогранитных системах складчатых структур // Геохимия. – 1997. – № 5. – С. 513–520.
19. Коробейников А.Ф. Рудно-метасоматическая зональность на месторождениях золота // Геология рудных месторождений. – 1983. – № 1. – С. 96–99.
20. Коробейников А.Ф. Особенности поведения золота при площадном и локальном метасоматозе гранитоидных интрузий Саяно-Алтайской складчатой области // Геохимия. – 1977. – № 2. – С. 288–297.
21. Коробейников А.Ф. Крупные и гигантские золоторудные месторождения: условия образования и размещения // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – С. 110–113.
22. Коробейников А.Ф., Черняева Е.И. Поведение золота при формировании зональных дайковых тел габбро-диабазов // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 292. – № 3. – С. 680–684.
23. Коробейников А.Ф. Состав и свойства минералообразующих растворов золоторудных месторождений Саяно-Алтайской складчатой области по включениям в минералах // Параметры природного эндогенного рудообразования. – Новосибирск: Наука, 1979. – Ч. II. – С. 161–174.
24. Соколов Б.А., Старостин В.И. Флюидодинамическая концепция формирования месторождений полезных ископаемых (металлических, углеводородных) // Смирновский сборник – 97. – М., 1997. – С. 99–147.